



ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

Evaluación de estrategias de biofortificación con enfoque agronómico sobre la concentración de zinc en maíz dulce (*Zea mays* L) var. Saccharata

Ruiz López, Edison Marcelo

Departamento de Ciencias de la Vida y de la Agricultura

Carrera de Ingeniería Agropecuaria

Trabajo de titulación, previo a la obtención del título de Ingeniero Agropecuario

Ing. Landázuri Abarca, Pablo Anibal Mgtr.

04 de julio del 2022



Importancia del zinc



Maíz dulce

- 1820 Descrito por primera vez el maíz dulce
Zea Mays L. var. *Sacharatta*
- 1924 “Redgreen”
- 1947 75 % semillas híbridas



Contenido nutricional del maíz dulce

Descripción	Unidad	Valor/100 g
Agua	g	76,05
Energía	kcal	86
Proteína	g	3,27
Lípidos	g	1,35
Carbohidratos	g	18,70
Fibras	g	2,0
Azúcar total	g	6,26
Ca	mg	2
Fe	mg	0,52
Mg	mg	37
P	mg	89
K	mg	270
Na	mg	15
Zn	mg	0,46

Mutaciones de maíz dulce

Mutación	Nombre común	Azúcar (%)	Fitoglucógeno no	Vida postcosecha
sugary 1 (su1)	Azucarado o dulce	15	si	Regular
sugary enhancer (se)	Azúcar aumentado	15 - 36	si	Buena
shrunk-2 (sh2)	Superdulce	30 - 44	No	Muy buena
Brittle-1 (Bt1)	Superdulce	30-44	No	Muy buena

(Parera, 2017)

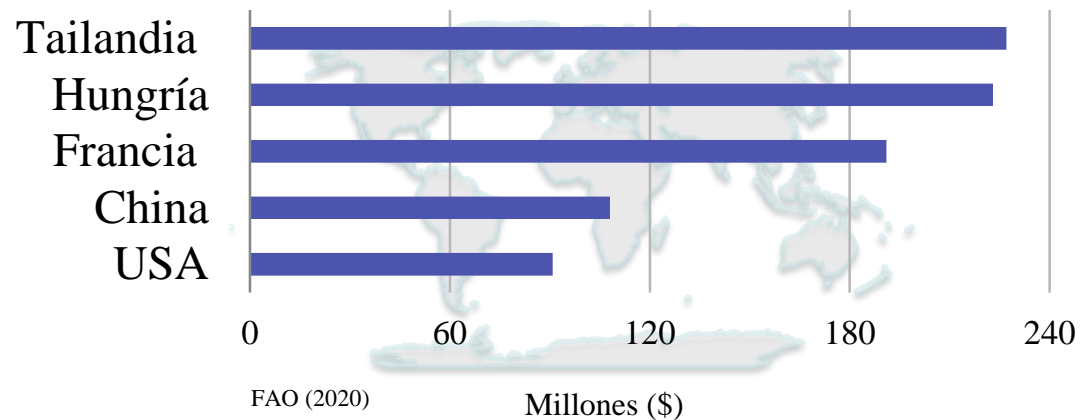
(Parera, 2017).



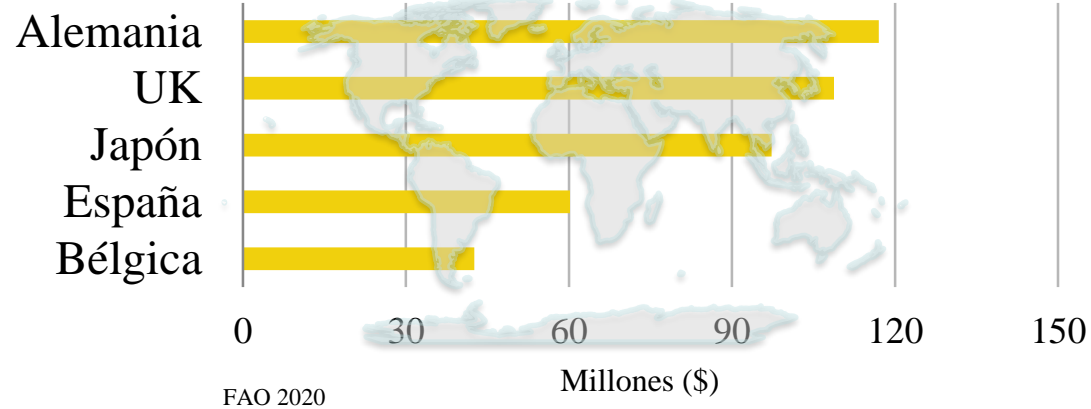
ESPE
ESCUOLA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO
CAMINO A LA EXCELENCIA

Producción de maíz dulce

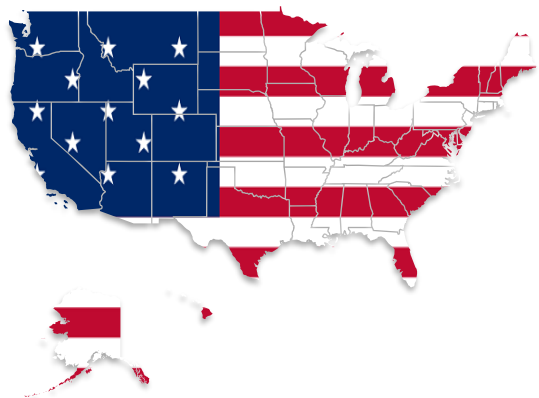
Exportadores



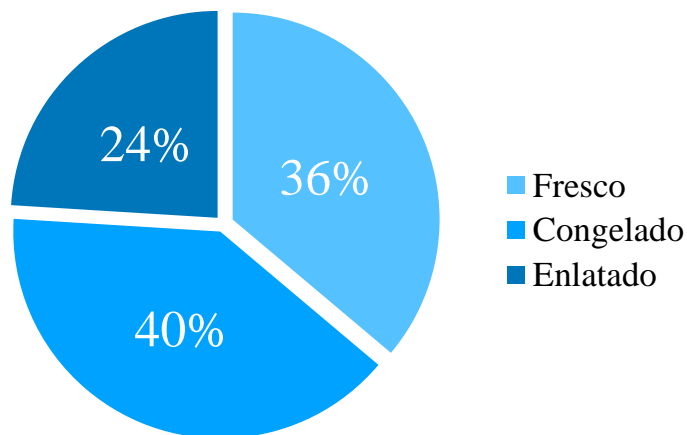
Importadores



3.2 millones ton año⁻¹



+ Consumo per capita: 10,8 kg



Los Ríos

+ 225 hectáreas

© Vermaps.com



ESPE
 ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO
 CAMINO A LA EXCELENCIA

JUSITIFICACIÓN



↑ Consumo cereales pobres en nutrientes

5 to

Factores de riesgos de salud

25 %

Deficiencias nutrimentales asociadas al Zn

Estrategias de enriquecimiento agronómico



Largo plazo

Acceso a poblaciones
Bajos recursos

Concentración de
Zinc

Alimentos
nutritivos



E S P E
ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO
CAMINO A LA EXCELENCIA

OBJETIVOS

General

Evaluar el efecto de las estrategias de biofortificación con enfoque agronómico sobre la concentración de zinc en granos maíz dulce (*Zea mays* L.) var Saccharata.

Específicos



Determinar el efecto de las estrategias de biofortificación sobre los parámetros productivos de maíz dulce.



Establecer la mejor estrategia de biofortificación agronómica (foliar, cebado de semillas, aplicación al suelo y combinación de estrategias) sobre las concentraciones de zinc en grano.



HIPÓTESIS

H₀: Las estrategias de biofortificación agronómicas solas o combinadas no afectan a la concentración de zinc en grano de maíz dulce y mantiene los parámetros productivos en comparación al manejo convencional del cultivo.

H₁: Las estrategias de biofortificación agronómicas solas o combinadas contribuyen a aumentar la concentración de zinc en grano de maíz dulce y mejora los parámetros productivos en comparación al manejo convencional del cultivo.



METODOLOGÍA

Área de estudio



Figura 1. Invernadero de horticultura IASA 1
Fuente: Google Earth (2022)

Posición Geográfica 0°23'20" S, 78°24'44" O

Altura 2748 m.s.n.m.

Campo abierto



T. Media
13,96 °C



P. Anual
1285 mm



H.R
68 %

Bajo invernadero



T. Media
18,4 °C



H.R
40,16 %



Luminosidad
1500 $\mu\text{mol.m}^2\text{s}^{-1}$

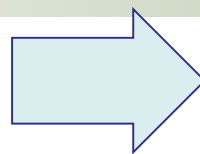


METODOLOGÍA

Análisis de suelo

Parámetro analizado	Unidad	Resultado	Interpretación Sierra Ecuatoriana
pH a 25 °C	---	7,72	Ligeramente Alcalino
Materia Orgánica	%	2,64	Alto
Nitrógeno	%	0,13	Bajo
Fósforo	mg kg ⁻¹	238,4	Muy Alto
Potasio	cmol kg ⁻¹	0,23	Medio
Calcio	cmol kg ⁻¹	13,63	Alto
Magnesio	cmol kg ⁻¹	3,82	Alto
Hierro	mg kg ⁻¹	238,6	Alto
Manganeso	mg kg ⁻¹	9,99	Alto
Cobre	mg kg ⁻¹	6,99	Alto
Zinc	mg kg ⁻¹	9,06	Alto

Nota. Interpretación por INIAP, 2020



Preparación del terreno



Infraestructura de protección

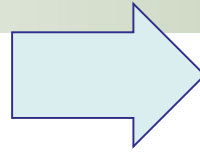


METODOLOGÍA

Siembra



7 bandejas 220 alveolos
+ ½ kilo de Semillas
+ Sustrato lambert LM GPS



10 cm de altura

Transplante



Descripción	Valor
Longitud de la hilera	21 m
Distancia entre hileras	0.30 m
Distancia entre sitios	0.20 m
Sitios por hilera	105
Plantas por sitio	1
Hileras por cama	2
Superficie útil por cama	14.7 m ²
Densidad poblacional	80.000 plantas/ha

Nota. Descripción de siembra de plantas de maíz dulce en campo



ESPE
ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO
CAMINO A LA EXCELENCIA

METODOLOGÍA

Fertilización

Órgano	Extracción (kg ha ⁻¹)										
	N	P	K	S	Ca	Mg	B	Fe	Mn	Cu	Zn
Mazorca	57,17	10,20	38,11	4,15	2,24	4,37	0,026	0,100	0,049	0,015	0,081
Planta	141,23	15,02	193,92	13,00	23,09	15,24	0,056	0,412	0,336	0,056	0,145
Total	198,4	25,22	232,03	17,15	25,33	19,61	0,082	0,512	0,385	0,071	0,226

Tabla 2. Extracción de nutrientes del maíz dulce

Método de Stanford

$$Dosis\ de\ N = \frac{DC - S}{E}$$

Donde:

DC = Demanda del cultivo

S = Aporte del suelo

E= Eficiencia del fertilizante

(Saavedra, 2015)



172,2 kg de Úrea
Fraccionado

1/3 Transplante

1/3 30 ddt

1/3 Previo a la
antitesis



METODOLOGÍA

Sistema RAF
Caudal 2.1 litros Hora⁻¹
Lámina : 340 mm



Riego

Control de malezas



CLORPILAQ ® 48
(Chlorpyrifos) y NEEM-X
0.40 EC
1lt ha⁻¹



Control químico de insectos y plagas

Cosecha



72% Humedad

Postcosecha



B-12
-10 ° C

METODOLOGÍA

Biofortificación foliar

Etapas vegetativa V9



Solución al 1%
 $ZnSO_4$



Corrección de pH agua \rightarrow 6,5

Biofortificación al suelo

1/2 Antes del transplante



1/2 Etapa vegetativa V9



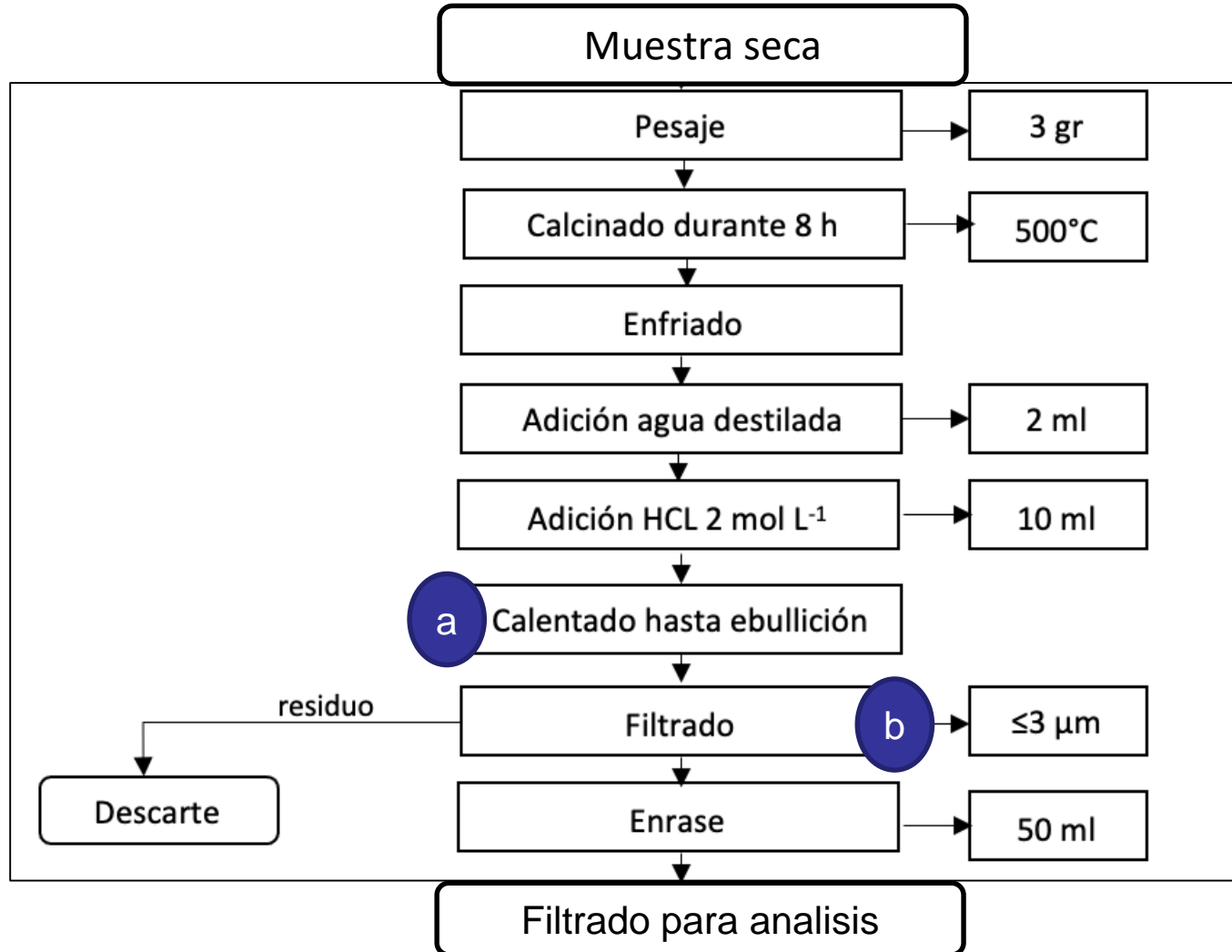
$12 \text{ kg ha}^{-1} ZnSO_4$



ESPE
ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO
CAMINO A LA EXCELENCIA

METODOLOGÍA

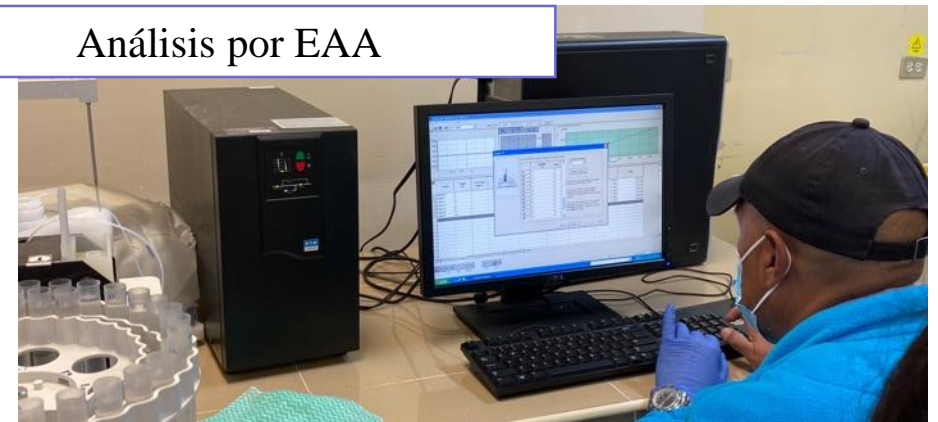
Análisis de laboratorio de Zn y P



5 mazorcas por UE

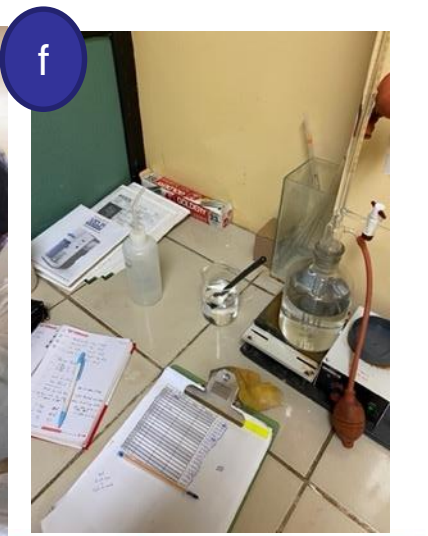
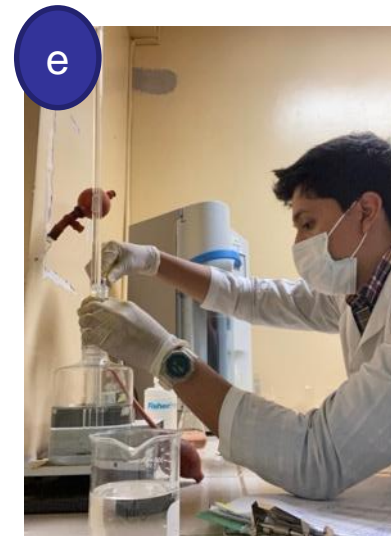
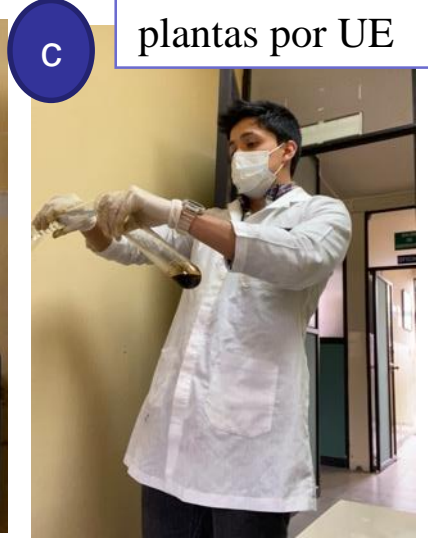
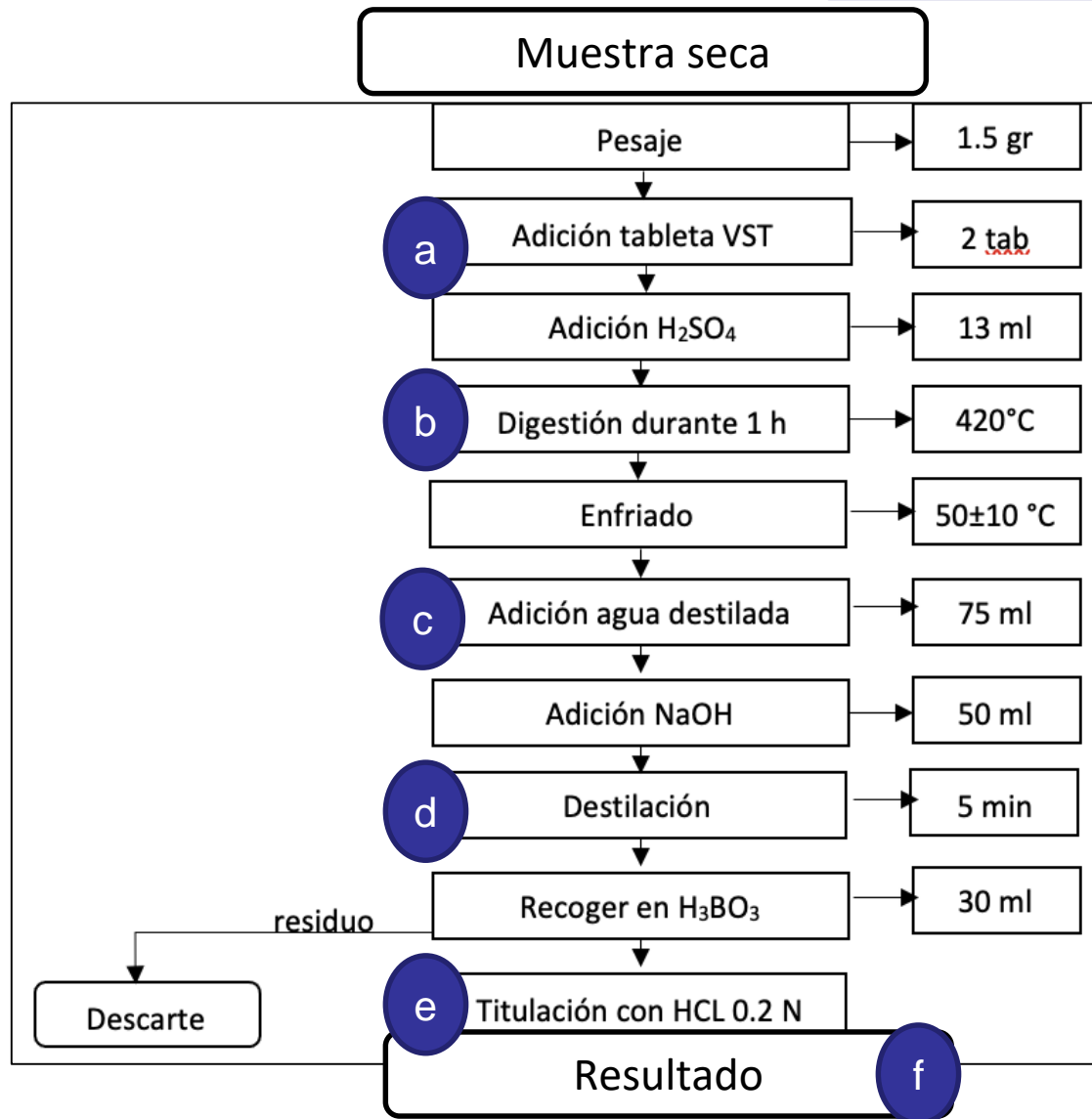


Análisis por EAA



METODOLOGÍA

Análisis de laboratorio de proteína

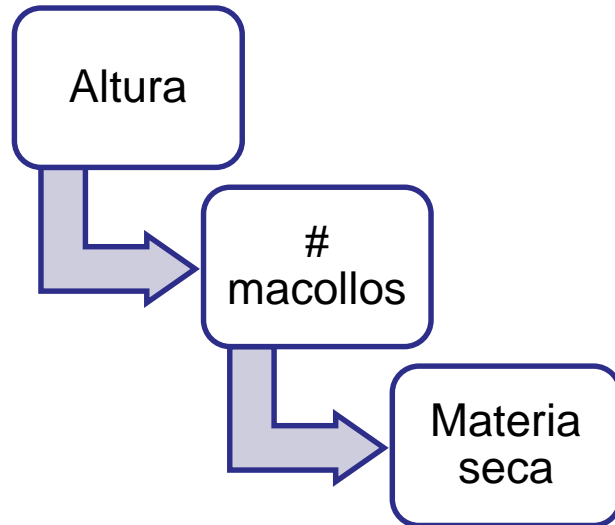


METODOLOGÍA

Variables analizadas

Seleccionaron 10 plantas al azar de cada unidad experimental

Parámetros de crecimiento de planta



Parámetros de calidad de mazorca

Peso, diámetro, longitud, número de hileras y número de granos por hilera

Porcentaje de desgrane (PD)

$$PD = \frac{PG}{PM}$$

Peso de 1000 semillas (P1000)

$$P1000 \text{ (g)} = 200 \text{ semillas} * 5$$

Contenido nutricional en granos

Concentración de nitrógeno

$$\%N = \frac{14 * N * V * 100}{m * 1000}$$

Concentración de fósforo

$$\%P = \frac{(A - B) * VF}{m * 10000}$$

Concentración de zinc

$$\%Zn = \frac{(A - B) * VF}{m * 10000}$$



Variables analizadas

Biomasa

$$\text{Biomasa 10 plantas} = [\text{PF} - (\text{PF} * \%H)]$$

Donde:

PF = Peso fresco de 10 plantas

%H = Humedad de la submuestra

PSM = Peso seco de 10 mazorcas

$$\text{Biomasa total} = \text{Biomasa de 10 plantas} * \# \text{ plantas UE}$$

Rendimiento

$$\text{Rendimiento} = \frac{\text{PC} * \text{PD} * \text{MS} * 1000}{20 * \text{AP}}$$

Donde:

PC = Peso fresco (kg) de mazorcas cosechadas por unidad experimental (UE)

PD = Proporción de desgrane

MS = Materia seca de mazorcas cosechadas (100 - %Humedad grano a la cosecha)

expresado en decimales.

AP= Área de la UE

METODOLOGÍA

Diseño Experimental

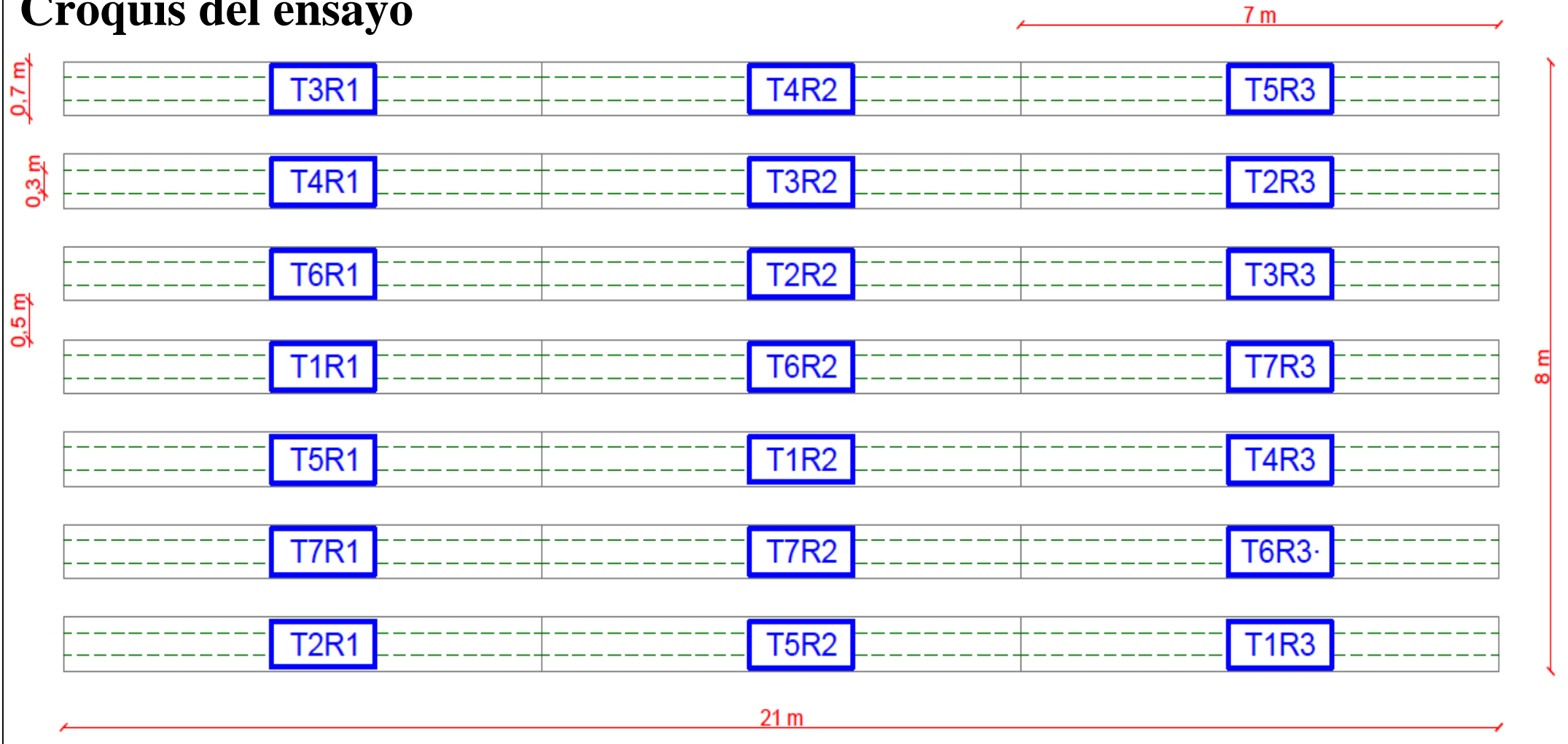
Tratamiento	Descripción
T1	Cebado de semilla (Solución al 1% ZnSO ₄)
T2	Aplicación al suelo (12 mg kg ⁻¹ ZnSO ₄)
T3	Aplicación foliar (Solución al 1% ZnSO ₄)
T4 (Testigo)	Sin aplicación de Zinc
T5	Cebado de semilla (Solución al 1%) + Aplicación de Zn al suelo (12 mg kg ⁻¹)
T6	Aplicación al suelo (12 mg kg ⁻¹) + Aplicación foliar (Solución al 1%)
T7	Cebado de semilla (Solución al 1%) + Aplicación foliar (Solución al 1%)

Análisis de la Información: DBCA con tres repeticiones

- Estadística descriptiva
- Análisis de varianza ANAVA
- Pruebas de comparación de medias Tukey 5%
- Análisis de regresión y correlación
- R Studio



Croquis del ensayo



RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Parámetros de crecimiento de planta

(Alloway B. , 2009)
Relación del Zn con IIA

Tratamiento	Altura (cm)	Número de macollos	Materia seca (g planta ⁻¹)
1 (CE) 1% de ZnSO ₄	1.91 ±0.04abc	1.97±0.25ns	78.17±1.35abcd
2 (SU) 12 kg ha ⁻¹	1.90±0.12bc	2.00±0.10ns	77.49±4.70bcd
3 (FO) 1% de ZnSO ₄	1.78±0.04cd	1.93±0.06ns	72.76±1.69cd
4 (Testigo)	1.66±0.04d	1.77±0.15ns	68.02±1.35d
5 (FO +CE) 1% de ZnSO ₄ + 1% de ZnSO ₄	2.14±0.12a	1.97±0.15ns	93.91±6.26a
6 (CE+SU) 1% de ZnSO ₄ + 12 kg ha ⁻¹	2.00±0.10abc	2.07±0.21ns	85.40±9.46abc
7 (FO+SU) 1% de ZnSO ₄ + 12 kg ha ⁻¹	2.04±0.09ab	2.03±0.06ns	92.55±8.63ab

(Thomison, 2017)

Población, antecedentes genéticos del híbrido, condiciones de crecimiento, disponibilidad de nutrientes

Mohsin *et al.* (2014) Foliar (2%) + Cebado (2%) ZnSO₄

(Nadergoli, Yarnia, & Khoei, 2011)

+ Triptofano
+ Auxinas



RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Parámetros de calidad de mazorca (1)

Tratamiento	Longitud (cm)	Diámetro (cm)
1 (CE) 1% de ZnSO ₄	17.43±0.36ab	4.61±0.09ab
2 (SU) 12 kg ha ⁻¹ ZnSO ₄	17.09±0.37ab	4.53±0.17ab
3 (FO) 1% de ZnSO ₄	17.61±0.11ab	4.58±0.07ab
4 (Testigo)	16.64±0.26b	4.43±0.17b
5 (FO+CE) 1% de ZnSO ₄ + 1% de ZnSO ₄	17.33±0.42ab	4.57±0.06ab
6 (CE+SU) 1% de ZnSO ₄ + 12 kg ha ⁻¹	17.53±0.10ab	4.76±0.06a
7 (FO+SU) 1% de ZnSO ₄ + 12 kg ha ⁻¹	17.74±0.47a	4.72±0.09a

(Grzebisz & Szczepaniak, 2008)
+ Captación de nitrógeno y mejora características de la mazorca

Mohsin *et al.* (2014)
2% Foliar + 2 % Cebado

En contraste con
Zunaira, *et al.* (2022)
Sin influencia adición Zn exógeno

(Safyan, Bahari, & Reza (2012) y
Mohsin, *et al.* (2014)
Aplicaciones combinadas

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Parámetros de calidad de mazorca (2)

Rasool, Ahmad, & Farooq (2019)
Interacción genotipo x ambiente

y, Zunaira, et al., (2022)
+ Fe, Mg y/o B

Tratamiento	Hileras por mazorca	Granos por hilera	Peso de mazorcas (g)
1 (CE) 1% de ZnSO ₄	13.33±0.06a	29.27±1.14b	222.57±9.38a
2 (SU) 12 kg ha ⁻¹ ZnSO ₄	13.63±0.35a	27.77±0.99b	209.50±8.15a
3 (FO) 1% de ZnSO ₄	13.83±0.45a	30.07±0.75ab	212.43±5.97a
4 (Testigo)	13.40±0.26a	28.00±0.44b	187.40±1.73b
5 (FO+CE) 1% de ZnSO ₄ + 1% de ZnSO ₄	14.03±0.40a	29.50±0.44b	205.10±8.55 ^a
6 (CE+SU) 1% de ZnSO ₄ + 12 kg ha ⁻¹	14.07±0.38a	28.67±0.75b	222.50±1.68a
7 (FO+SU) 1% de ZnSO ₄ + 12 kg ha ⁻¹	14.20±0.20a	31.87±1.10a	211.03±2.87a

(Siddiqui, Oad, Abbasi, & Gandahi, 2009)

Capacidad de absorción de N

(Alloway B. , 2009)

Deficiencia de Zn y rendimiento

Zunaira, et al.

(2022) 10 kg ha⁻¹. ZnSO₄ + 12 kg ha⁻¹ de FeSO₄



Parámetros de productividad (1)

(Sharma, Agarwala, & Sharma, 1990)

Actividad fotosintética
Area foliar, biomasa y brotes

Zunaira, et al. (2022)

10 Kg ha⁻¹ ZnSO₄ con 12 kg ha⁻¹ FeSO₄

Mohsin, et al. (2014)

Foliar 2% + Cebado 2%

Tratamiento	Peso 1000 semillas (g)	Porcentaje desgrane
1 (CE) 1% de ZnSO ₄	91.50±2.00cd	0.70±0.04ab
2 (SU) 12 kg ha ⁻¹ ZnSO ₄	97.00±6.06abc	0.67±0.02ab
3 (FO) 1% de ZnSO ₄	94.00±1.50bcd	0.68±0.03ab
4 (Testigo)	81.75±2.75d	0.65±0.05b
5 (FO+CE) 1% de ZnSO ₄ + 1% de ZnSO ₄	102.00±5.77abc	0.68±0.04ab
6 (CE+SU) 1% de ZnSO ₄ + 12 kg ha ⁻¹	105.75±1.75ab	0.71±0.02ab
7 (FO+SU) 1% de ZnSO ₄ + 12 kg ha ⁻¹	108.33±9.36a	0.78±0.06a

(Rajendran & Veeramani, 2022)

humedad de grano, genotipos, prácticas culturales y condiciones agroclimáticas

+ 81.1% PD cuando Foliar Zn + Fe

(Bender, Haegele, Ruffo, & Below, 2013)

60% del tallo y hojas

(Grzebisz & Szczepaniak, 2008)

Mayor parte removilizado del suelo



Parámetros de productividad (2)

Tratamiento	Índice de Mazorca	Biomasa ton ha ⁻¹	Rendimiento ton ha ⁻¹
1 (CE) 1% de ZnSO ₄	1.10±0.10abc	13.07±0.25a	11.04±0.60bc
2 (SU) 12 kg ha ⁻¹ ZnSO ₄	1.13±0.12abc	12.90±0.70ab	12.18±0.93abc
3 (FO) 1% de ZnSO ₄	1.03±0.06bc	12.47±0.47ab	11.52±1.28abc
4 (Testigo)	1.00±0.00c	11.67±0.15b	10.43±0.45c
5 (FO+CE) 1% de ZnSO ₄ + 1% de ZnSO ₄	1.27±0.06a	13.33±0.60a	13.48±0.44ab
6 (CE+SU) 1% de ZnSO ₄ + 12 kg ha ⁻¹	1.23±0.06ab	13.10±0.60a	12.94±1.10ab
7 (FO+SU) 1% de ZnSO ₄ + 12 kg ha ⁻¹	1.30±0.10a	13.37±0.45a	13.37±0.70a

(Mohsin, et al., 2014;
Ladumor, et al., 2019)
Cebado de Semilla mayor
Rendimiento Biológico

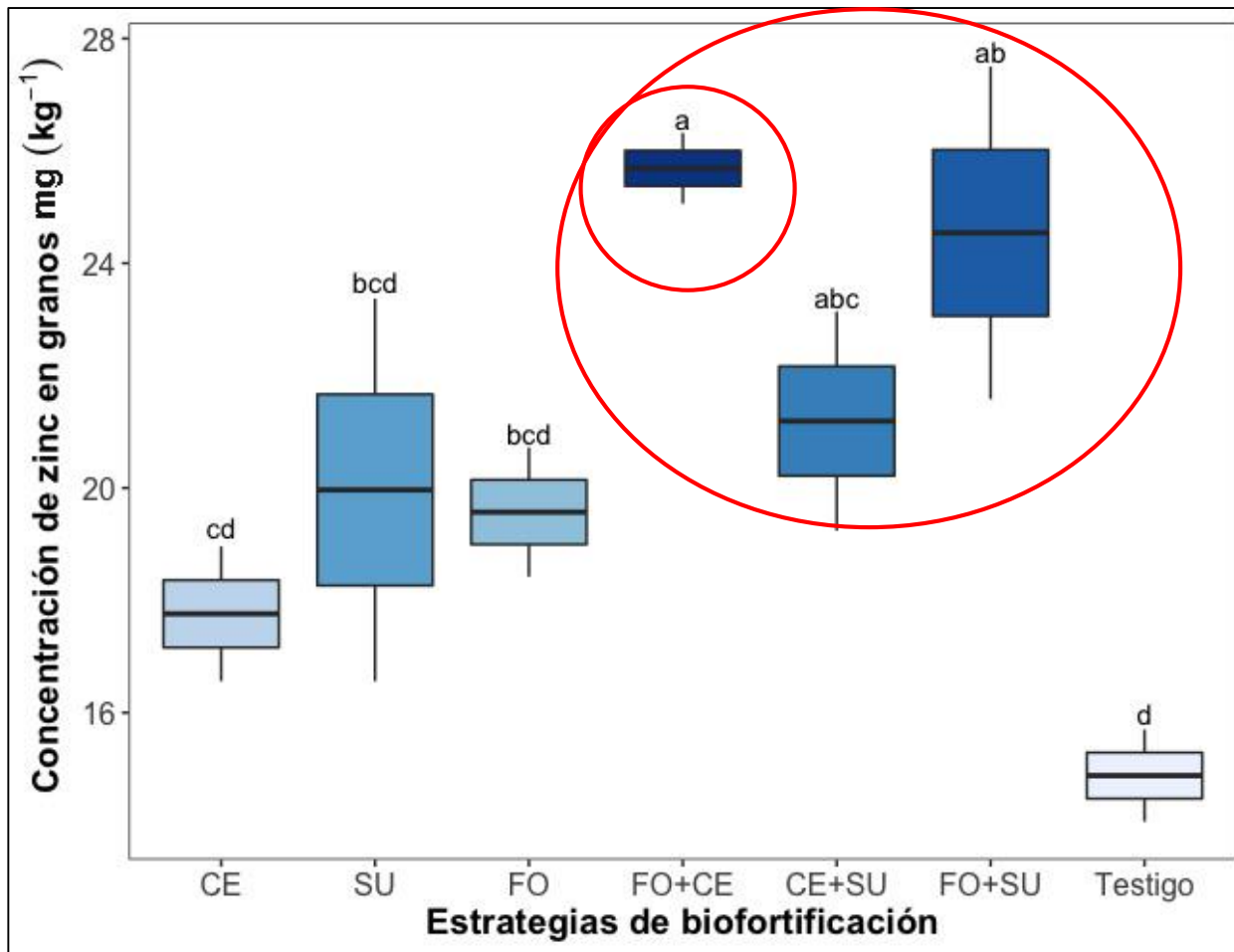
Rajendran &
Veeramani (2022)
Fo: Fe + Zn aumentó
el rendimiento

(Palmgren, et al., 2008)
Células epidérmicas de
raíz o (apoplástico) y
(simplástico)

(Palmgren, et al., 2008) Combinación de rutas
de absorción + Rendimiento



Contenido de zinc en grano



(Phattarakul, et al., 2012)

Combinación de rutas de absorción beneficia la acumulación de Zn

(Broadley , White , Hammond , Zelko, & Lux , 2007)

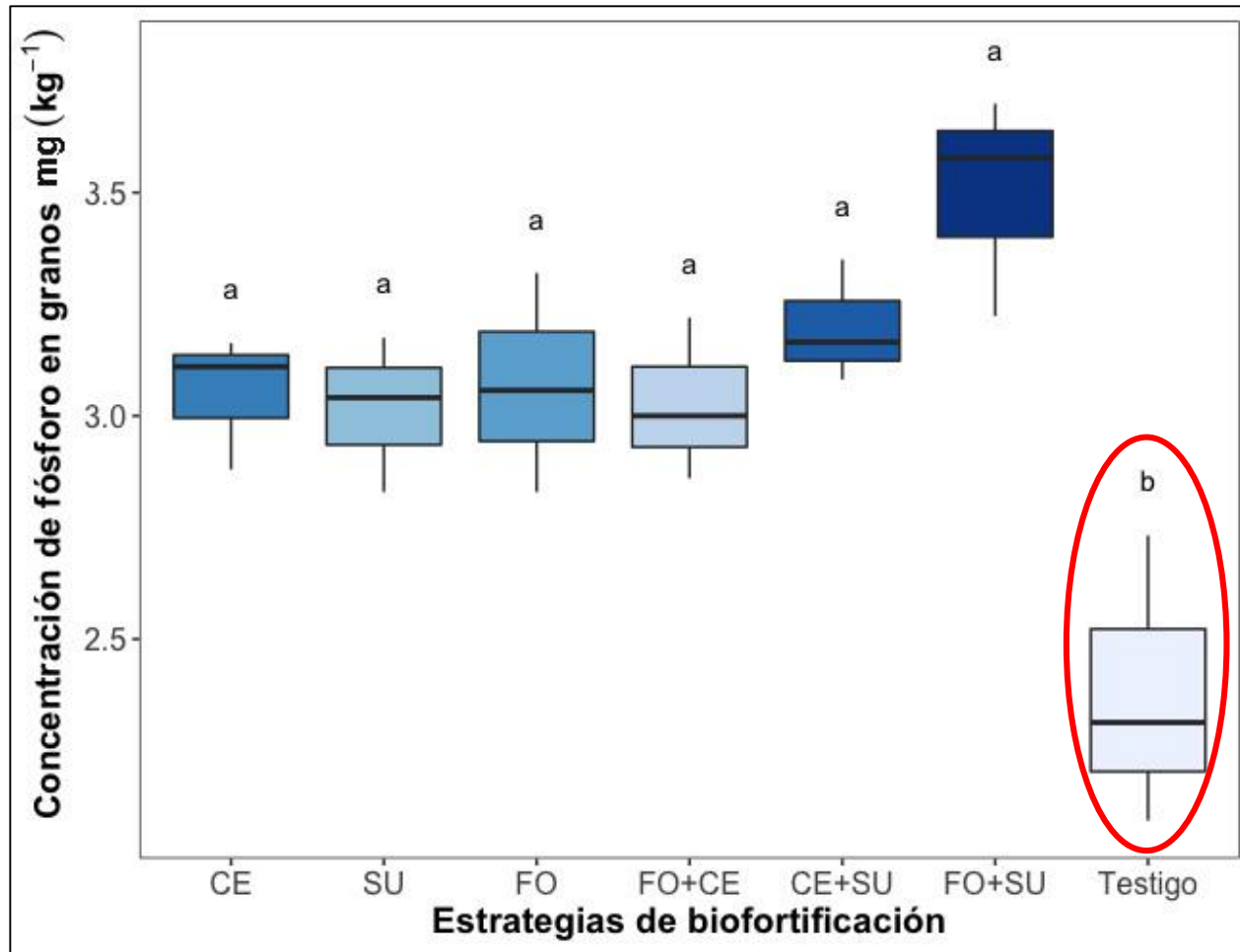
Foliar vs Suelo, Acceso diferencial Floema y xilema
(Cakmak, et al., 2010) (Xilema Discontinuidad)

(Rengel , Batten , & Crowley , 1999)

La acumulación de zinc en los tejidos vegetales se ve influida por los mecanismos de transporte y traslocación del elemento.
Foliar: + Asimilados (floema)



Contenido de fósforo en grano



(Cheaha, et al., 2020)

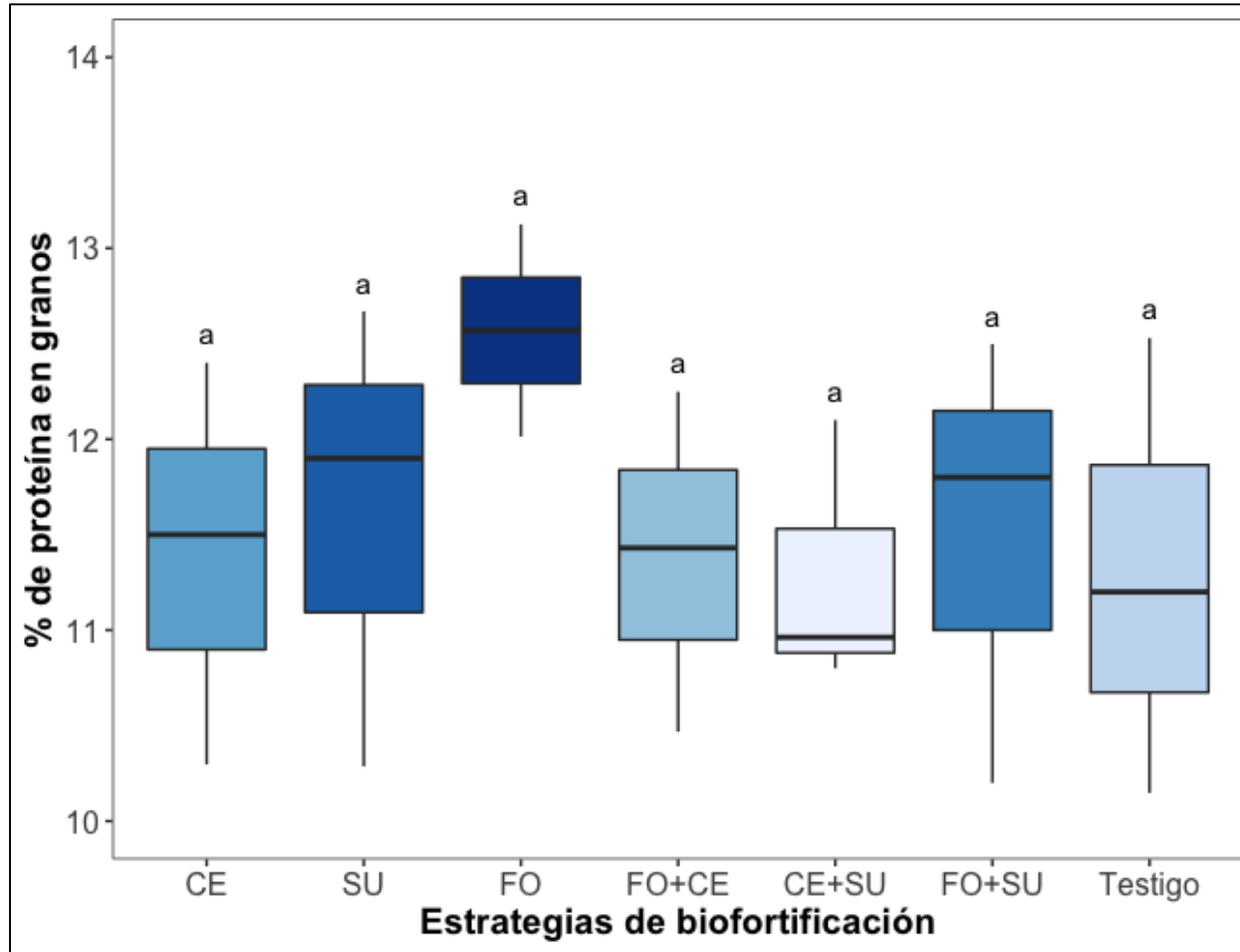
Fe, P y Zn acumulación en escudete, depende del grado de madurez

Granos inmaduros: Aumenta concentración de P cuando incrementa Fe y Zn

(Cheaha, et al., 2020)

Adición al suelo 8 kg ha⁻¹ ZnSO₄ aumento P 35%

Contenido de proteína en grano



pH (7,7)
Elevado calcio

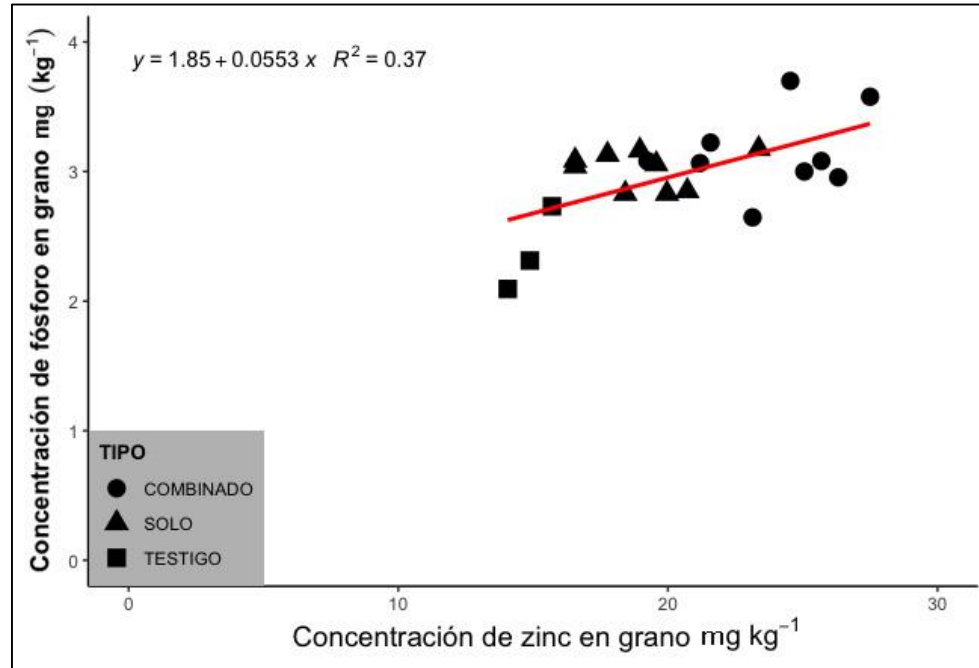
Mugenzi, et al. (2018)
Sin influencia por aplicación de zinc

Mohsin, et al. (2014) y Zunaira, et al. (2022)
Menos cantidad de proteína
Dilución



Regresiones

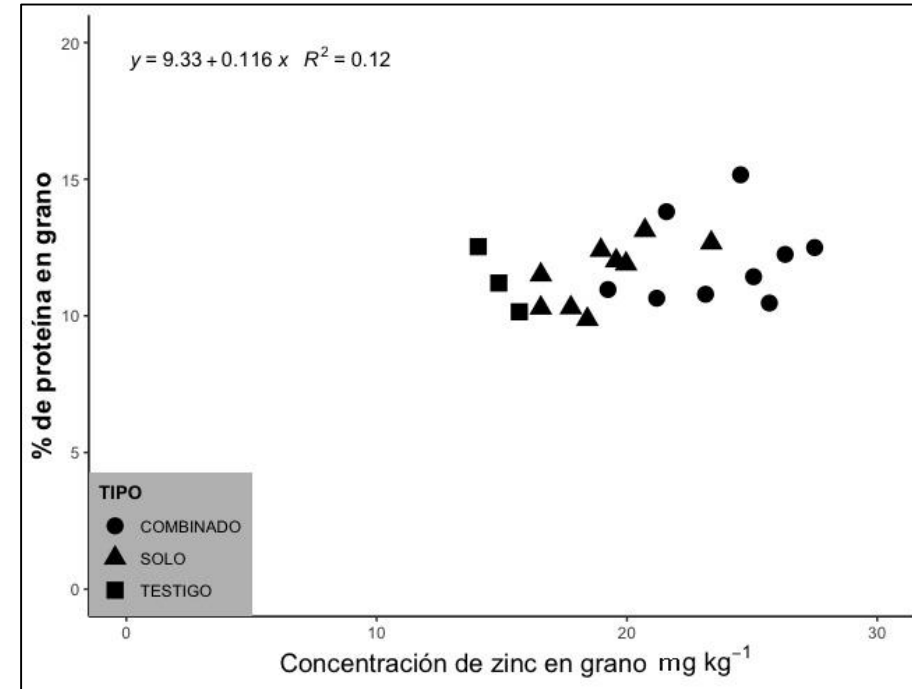
Zn y P



Raboy (2002) Inferir presencia de fitato por P
80% al 85% del fósforo -> Fitato

Cheaha, et al. (2020) Zn y P ($r = 0,307$)

Zn y N



(FAO, 1993) factores genotípicos y condiciones de cultivo

Mohsin, et al. (2014) correlación negativa alta ($r = -0.71$) en maíz DK-919 y Pioneer 30Y-87



Correlación entre variables productivas y crecimiento

Parámetro	Altura planta (cm)	# MAC	MS (g pl ⁻¹)	# MAZ	LM (cm)	DM (cm)	HXM	GXH	GXM	PM (g)	P1000 (g)	PD (g)	IM	BIO (ton ha ⁻¹)	REND (ton ha ⁻¹)	Zn (g kg ⁻¹)	
Altura P	-																
# MAC	0.39*	-															
MS	0.87**	0.35ns	-														
# MAZ	0.57**	0.17ns	0.45**	-													
LM	0.22ns	0.15ns	0.34ns	0.50**	-												
DM	0.44**	0.43**	0.48**	0.50**	-0.75**	-											
HXM	0.56**	0.37ns	0.67**	0.32ns	0.47**	0.59**	-										
GXH	0.36ns	0.05ns	0.52**	0.70**	0.86**	0.47**	0.47**	-									
GXM	0.50**	0.19ns	0.66**	0.64**	0.70**	0.59**	0.77**	0.92**	-								
PM	0.21ns	0.12ns	0.06ns	0.10ns	0.29ns	0.43*	0.07ns	0.01ns	0.30ns	-							
P1000	0.64**	0.48**	0.66**	0.46**	0.60**	0.65**	0.63**	0.47**	0.61**	0.88**	-						
PD	0.47**	0.11ns	0.49**	0.51**	0.50**	0.76**	0.51**	0.63**	0.86**	0.85**	0.60**	-					
IM	0.76**	0.32ns	0.84**	0.90**	0.47**	0.61**	0.72**	0.54**	0.70**	0.05ns	0.72**	0.67**	-				
BIO	0.78**	0.22ns	0.78**	0.81**	0.34ns	0.39*	0.30ns	0.39*	0.41*	0.24ns	0.57**	0.42*	0.71**	-			
REND	0.70**	0.41*	0.74**	0.84**	0.29ns	0.46**	0.60**	0.29ns	0.47**	0.73**	0.71**	0.39*	0.89**	0.85**	-		
Zn	0.72**	0.39*	0.75**	0.30ns	0.38*	0.28ns	0.49**	0.41*	0.51**	0.32ns	0.78**	0.25ns	0.85**	0.58**	0.87**	-	



CONCLUSIONES

- Las estrategias de biofortificación con zinc mediante aplicaciones solas o combinadas, generaron un **efecto positivo sobre la concentración de zinc en granos** de maíz dulce híbrido Bandit Morris. De tal forma que se logró **incrementar entre 19.46% a 72.48% la concentración de zinc** en granos de maíz dulce, en comparación al manejo convencional del cultivo
- Las estrategias de biofortificación con zinc mostraron efectos positivos sobre los parámetros productivos, crecimiento y calidad de mazorca del maíz dulce híbrido Bandit Morris. Los métodos combinados de biofortificación incrementaron en 30% el índice de mazorca, 14.56 % biomasa y 28.18% en rendimiento del cultivo.



CONCLUSIONES

- ✦ Los métodos de biofortificación que mostraron mejores resultados para la concentración de zinc como para los parámetros productivos, son aquellos en los que se combinó estrategias siempre y cuando estuviera involucrada aplicación al suelo.
- ✦ En este estudio, la **baja correlación** entre la concentración de zinc y fósforo en granos de maíz dulce ($r^2=0,37$) cosechados en punto de consumo, sugiere que los enfoques de biofortificación agronómica con zinc sobre el maíz híbrido dulce Bandit Harris Moran pueden llevarse a cabo **sin riesgo de aumento concomitante de concentración de fósforo, y por lo tanto de fitato.**



RECOMENDACIONES



Aplicación foliar 1% de $ZnSO_4$ más 12 kg ha^{-1} de $ZnSO_4$ al suelo, para aumentar la concentración de zinc en granos y potencializar el rendimiento del maíz dulce híbrido Bandit Morris.



Estudios sobre la concentración de zinc, fósforo y hierro por estructuras del grano, tales como escudete, aleurona, endospermo y embrión. Para determinar la dinámica e interacción de los nutrientes al interior del grano.



Seleccionar variedades de maíz nacional con potencial de mejoramiento agronómico y/o genético, para implementación en programas de biofortificación a escala nacional.

